



## Experimental analysis of Meta-Heuristic algorithms for moving customer vehicle routing problem

Ukbe Usame Uçar<sup>1\*</sup>, Selçuk Kürşat İşleyen<sup>2</sup>, Hadi Gökçen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Fırat University, Elazığ, 23000, Turkey

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

### Highlights:

- The time unit is a continuous value and the target number changes continuously at any time “t”
- The behaviour of the UAVs when there is no target in the operation area has been included in the route plan
- Using ideal number of vehicles in fleet.

### Keywords:

- Moving Customer Vehicle Routing Problem
- Simulated Annealing
- Pareto Optimization
- Genetic Algorithm
- NSGA-II

### Article Info:

Research Article  
Received: 22.08.2019  
Accepted: 23.09.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.609418

### Acknowledgement:

This work is supported by the TUBITAK-BİDEB 2211 PhD Scholarship Program.

### Correspondence:

Author: Ukbe Usame Uçar  
e-mail: uuucar@firat.edu.tr  
phone: +90 424 237 0000 / 5624

### Graphical/Tabular Abstract

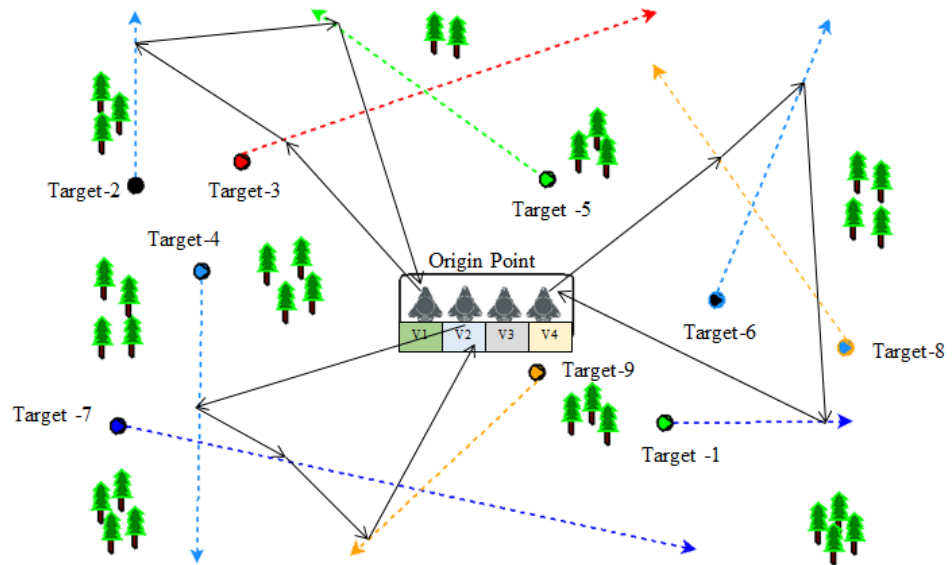


Figure A. Moving Customer Vehicle Routing Problem

**Purpose:** In this study, Heterogeneous Fleet-Moving Customer Vehicle Routing Problem (MC-VRP) with Time Windows under constraint of vehicle capacity (endurance) has been aimed to be solved considering the minimum operation time and cost.

### Theory and Methods:

In order to solve the problem, heuristic algorithms (ÇARA, RASA) were developed and metaheuristic algorithms (Genetic Algorithm, NSGA-II and Simulated Annealing) were used.

### Results:

According to the results of experimental analysis, it has been found that Genetic Algorithm performs better than other algorithms. It has been determined that the Simulated Annealing Algorithm has difficulty in the simultaneous minimization of two objectives and the solution time of NSGA-II is high. ÇARA has produced suitable solutions in all scenarios in very short solution times. While RASA has found suitable solutions for small and medium-sized problems, large-scale problems have not been able to produce appropriate solutions within reasonable solution times.

### Conclusion:

MC-VRP has been successfully solved within the acceptable solution times for the relevant purposes, taking into account the specified constraints. As a result of the analysis, it was determined that population based algorithms produced better results than single solution based algorithms and constructive heuristics. It is anticipated that the proposed methods can be applied to Dynamic VRP, Dynamic TSP, MTTSP and can be used successfully in Fleet Routing, Maritime Surveillance Operations, Logistics and Traffic Control.



## Hareketli müşterili araç rotalama problemi için Meta-Sezgisel algoritmaların deneysel analizi

Ukbe Usame Uçar<sup>1\*</sup>, Selçuk Kürşat İşleyen<sup>2</sup>, Hadi Gökçen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 23000 Merkez, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Zaman birimi sürekli bir değer ve hedef sayısı herhangi bir "t" anında sürekli değişmekte.
- Operasyon alanında hedef bulunmadığı durum için İHA davranışının rota planına dahil edilmesi.
- Filo içerisindeki araçların ideal sayıda kullanımı

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 22.08.2019  
Kabul: 23.09.2020

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.609418

#### Anahtar Kelimeler:

Hareketli müşterili araç rotalama problemi, tavlama benzetimi, pareto optimizasyonu, genetik algoritma, NSGA-II

#### ÖZET

Silahlı İnsansız Hava Araçları, birçok ülkenin ulusal güvenliğini sağlamak adına askeri operasyonlarda yoğun bir şekilde kullandıkları yapay zekâya dayalı savunma sistemleridir. Bu sistemler sayesinde operasyon alanındaki hareketli ve hareketsiz hedefler, zorlu coğrafik koşullar altında pilot kullanılmaksızın kumanda merkezi yardımıyla imha edilebilmektedir. İnsansız hava aracı filosu tarafından, seyir süresi, mühimmat kapasitesi, yakıt maliyeti ve zaman penceresi kısıtlamaları dikkate alınarak sistemdeki hareketli hedeflerin başarılı bir şekilde imha edilmesi gereksinimi, Hareketli Müşterili Araç Rotalama Problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada Heterojen Filolu-Zaman Pencere-Kapasite Kısıtlı Hareketli Müşterili Araç Rotalama Probleminin, minimum görev süresi ve görev maliyeti amaçları doğrultusunda çözülmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için sezgisel algoritmalar (ÇARA, RASA) geliştirilmiş ve metasezgisel algoritmalar (Genetik Algoritma, NSGA-II ve Tavlama Benzetimi Algoritması) kullanılmıştır. Önerilen algoritmaların etkinliği vurucu sayısının 5-10, hedef sayısının 10-35 arasında değiştiği 30 farklı deney seti üzerinde test edilmiştir. Algoritmalar için uygun parametre setinin belirlenmesinde Taguchi yönteminden yararlanılmıştır. Analiz sonucunda Genetik Algoritmanın diğer algoritmalara kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.

## Experimental analysis of Meta-Heuristic algorithms for moving customer vehicle routing problem

### H I G H L I G H T S

- The time unit is a continuous value and the target number changes continuously at any time "t"
- The behaviour of the UAVs when there is no target in the operation area has been included in the route plan
- Using ideal number of vehicles in fleet

#### Article Info

Research Article  
Received: 22.08.2019  
Accepted: 23.09.2020

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.609418

#### Keywords:

Moving customer vehicle routing problem, simulated annealing, pareto optimization, genetic algorithm, NSGA-II

#### ABSTRACT

Unmanned Combat Aerial Vehicles are defense systems based on artificial intelligence which is intensively used by many countries to provide national security on military operations. By means of these systems, moving or non-moving threat factors in the operation field could be destroyed under harsh and challenging geographical conditions without requiring a pilot with the help of a control center. In fleet operations, the necessity of destroying moving targets successfully under constraints of the endurance, munition capacity, time window and fuel cost of unmanned combat aerial vehicles brings out the moving customer-vehicle routing problem. In this study, Heterogeneous Fleet-Moving Customer Vehicle Routing Problem with Time Windows under constraint of vehicle capacity (endurance) has been aimed to be solved considering the minimum operation time and cost. In order to solve the problem, heuristic algorithms (ÇARA, RASA) were developed and metaheuristic algorithms (Genetic Algorithm, NSGA-II and Simulated Annealing) were used. The effectiveness of the proposed algorithms was tested on 30 different experimental sets with the number of pursuers ranging from 5-10 and the number of targets ranging from 10-35. Taguchi method was used to determine the appropriate parameter set for the algorithms. As a result of the analysis, it has been found that Genetic Algorithm produces much better results than other algorithms.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: uuucar@firat.edu.tr, isleyens@gazi.edu.tr, hgokcen@gazi.edu.tr / Tel: +90 424 237 0000 / 5624

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz dünyasında yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte yapay zekâ ve robotik sistemler birçok sektörde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İnsansız hava araçları ve droneler bu sistemlerin başında gelmekte, kullanım alanları ile birçok görevde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Arama kurtarma faaliyetleri, askeri operasyonlar, gözetleme faaliyetleri ve ulaşım aktiviteleri bu araçların kullanıldığı alanlardan bazılarıdır. İnsansız hava araçları (İHA) ve dronelerin minimum görev zamanı ya da görev maliyeti ile rotalanması problemi ise büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada, müşterilerin ya da düğümlerin hareket ettiği bir sistemde, filo halinde hareket eden insansız hava araçlarının zaman penceresi ve yakıt kapasite kısıtları altında etkin bir şekilde rotalanması gereksinimden ortaya çıkan Hareketli Müşterili Araç Rotalama Problemi (HM-ARP), minimum görev süresi ve görev maliyetleri amaçları doğrultusunda çözülmeye çalışılmıştır. Literatürde problemle ilgili çalışma sayısı oldukça az olmakta, problemin temelleri Dinamik Araç Rotalama Problemi (D-ARP) ve Hareketli Hedefli Gezgin Satıcı Problemine (HHGSP) dayanmaktadır.

Psaraftis [1] tarafından 1988 yılında tanımlanan Dinamik ARP, müşteri talepleri [2-6], seyahat zamanı [7-10] ya da sistemdeki müşteri sayısının artması-azalması [11-13] gibi problem parametrelerinin zaman içerisinde değiştiği durumlar için önerilen bir problem türüdür [14]. İnsansız hava araçları ve drone gibi filo halinde görev gerçekleştiren robotik sistemlerin rotalanması da sıklıkla Dinamik ARP'nin konusu olmakta ve ele alınan problemlerin çözümünde tam sayılı programlama, sezgisel ve metasezgisel algoritmalarından yararlanılmaktadır [15-22].

HM-ARP önerilirken dikkate alınan bir diğer problem türü HHGSP problemidir. 1988 yılında Helvig vd., literatüre önerdiği HHGSP, deniz gözetleme operasyonları, askeri operasyonlar ve hareketli nesnelerin izlenmesi faaliyetleri başta olmak üzere birçok alanda yoğun bir şekilde uygulanmaktadır [23]. Problemden,  $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  operasyon alanındaki hareketli hedeflerin ya da düğümlerin kümesini oluşturmakta,  $s_i$  hedeflerinin her biri, önceden tanımlanmış ve zaman içerisinde değişmeyen  $v_i$  hıza sahip olmakta ve  $p_i$  başlangıç koordinatlarından harekete başlamaktadır. Buna ek olarak, sistemdeki vurucuları yakalayacak bir adet vurucu ya da gezgin satıcı bulunmakta ve bu vurucunun hızının ( $v > |v_i|$ ) tüm hedeflerin hızından daha fazla olduğu varsayılmaktadır. Problemdenki temel amaç, başlangıç noktasından harekete başlayan vurucunun ya da gezgin satıcının, sistem içerisindeki tüm hedefleri yakalayıp tekrardan başlangıç noktasına döneceği en hızlı tur rotasını belirlemektir [23]. Problem ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Helvig vd., HHGSP'yi vurucunun tek bir düzlemde hareket etmesi, vurucunun her bir hedefi imha ettikten sonra orijine dönmesi ve operasyon alanında birden fazla vurucunun bulunması durumları açısından incelemiş ve bu versiyonlar için çözüm yöntemleri

geliştirmişlerdir [23]. Fügenschuh vd., birden fazla vurucunun olduğu HHGSP'nin çözümü için tamsayılı programlamaya dayalı bir matematiksel model önermişler ve ilgili modelde zaman biriminin kesikli olduğunu ifade etmişlerdir [24]. Stieber vd., birden fazla hedefin ve silahın bulunduğu silah-hedef atama problemini, zaman biriminin kesikli olarak kabul edildiği bir matematiksel model yardımıyla çözmüş ve enerji verimliliğini amaç fonksiyonu içerisinde dikkate almışlardır [25]. Stieber ve Fügenschuh, Zaman Pencere-HHGSP'yi minimum seyahat turu amacı doğrultusunda çözmek için zaman biriminin kesikli ve sürekli olarak dikkate alındığı iki farklı çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir [26]. Jiang vd., HHGSP'nin çözümünde genetik algoritmadan yararlanmış ve algoritmanın daha etkin olabilmesi için çeşitli çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile çözümü iyileştirecek bakım onarım mekanizmalarını kullanmışlardır [27]. Jindal vd., tek vuruculu HHGSP'yi, vurucunun iki adet hedefi etkisiz hale getirdikten sonra başlangıç noktasına dönmesi gerektiği varsayımı altında incelemiş ve problemin çözümü için hedeflere öncelik puanı verilmesine dayalı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir [28]. Englot vd., çok sayıda hedefin insansız hava aracı tarafından etkisiz hale getirilmesi problemi için iki farklı sezgisel yöntem önermişlerdir. Test çalışması sonucunda, açgözlü olmayan sezgisellerin hareketi hızlı olan sistemlerde, ajan tabanlı Lin-Kernighan Sezgiselinin (LKH) hareketi yavaş olan sistemlerde daha başarılı sonuçlar ürettiğini tespit etmişlerdir [29]. Jindal vd., HHGSP'yi vurucunun yeniden ikmal yapması gerektiği durum açısından incelemiş ve hedeflerin orijine yönelme durumlarına göre iki farklı sezgisel yöntem geliştirmişlerdir [30]. Khosravi vd., operasyon alanında farklı engellerin bulunduğu ödül toplama problemini, hedef yörüngelerinin bilinmediği varsayımı altında incelemiş ve problemi çözmek için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir [31]. Zhou vd., düğümlere ait koordinatların zaman içerisinde Gauss Dağılımına göre değiştiği Dinamik GSP'yi, Dinamik Inver-Over Evrimsel Algoritma ile çözmüş ve uygulama çalışması sonuçlarına göre algoritmanın optimal sonuçlara ulaştığını tespit etmişlerdir [32]. Choubey, sabit bir hız ve açı ile sistem içerisinde hareket eden hedeflerin, tek bir vurucu tarafından etkisiz hale getirilmesi problemi için genetik algoritma dayalı bir çözüm metodolojisi geliştirmişlerdir [33]. Lee vd., Bağışıklık Sistemine Dayalı Karınca Kolonisi Optimizasyonu metodolojisini kullanarak beklenen tahribatın minimize edilmesi amacı doğrultusunda silah-hedef atama problemini çözmeye çalışmışlardır [34]. Pushkarini ve Bullo, birim çember çapında bir görev alanı içerisinde Poisson Dağılımına göre rastgele konumlandırılmış hareketli hedeflerin ilgili alan içerisinde imhası için üç farklı sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [35]. Knapp ve Rothe, hareketli hedeflerin lazer silahı ile imha edilmeye çalışıldığı silah-hedef atama problemi için simülasyon algoritmasına dayalı bir çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir [36]. Bu çalışmalara ek olarak, HHGSP [37-57], Riskli GSP [58], Dinamik ARP [59-70], Dinamik Atama ve Rotalama Problemi [71], Takım Oryantiring Problemi [72, 73], Kaçma-Kovalama Problemi [74] ile Stokastik ve

Dinamik ARP[75] içerisinde konu ile ilgili çalışmalar bulunabilmektedir.

Bu çalışmada, sistemdeki hedeflerin hareket ettiği, zaman pencere, kapasite kısıtlı, heterojen filolu ve çok amaçlı HM-ARP dikkate alınmıştır. Problemin en önemli uygulama alanlarından birini, silahlı insansız hava araçlarının filo halinde rotalanması problemi oluşturmaktadır. Bu problemde, ulusal güvenliği sağlamak için çok kısa çözüm süreleri içerisinde etkin rota planlarının oluşturulması gerekmektedir. “n” vuruculu, “r” hedefli bir sistemde ilgili kısıtlamalar altında  $(n^r) * (r!)$  çözüm bulunmakta, “n” ve “r” sayısı arttıkça problemin çözümü zorlaşmaktadır. Buna ek olarak, rota planları oluşturulurken minimum göre süresi ve görev maliyetleri amaçları dikkate alınmakta, bu amaçların eş zamanlı minimizasyonu için akıllı çözüm stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada belirtilen problemin çözümü için üç metasezgisel (NSGA-II, Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi) ve iki sezgisel algoritma (RASA, ÇARA) geliştirilmiş, algoritmaların etkinliği farklı problem setleri üzerinde test edilmiştir. Çalışma gerek ele alınan problem gerekse de önerilen çözüm stratejileri açısından literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır. Literatürde zaman penceresi ve araç kapasite kısıtları altında, zamanın sürekli olarak dikkate alındığı, hedef sayısının ve konumlarının zaman içerisinde sürekli değiştiği, çok amaçlı-heterojen filolu HM-ARP ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Buna ek olarak HM-ARP, Dinamik ARP ve HHGSP literatüründe ilk kez insansız hava araçlarının sistemde hedef bulunmadığı durumdaki davranışı, problemin çözümü esnasında dikkate alınmakta ve rota planına eklenmektedir. Çalışma, önerilen çözüm metodolojileri açısından da literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır. Literatürde HM-ARP ve HHGSP'nin çok amaçlı optimizasyonu için önerilen herhangi bir çözüm yaklaşımı bulunmamaktadır. Buna ek olarak önerilen yaklaşımların jenerik yapıya sahip olması, birçok kısıdı içerisinde barındırması ve probleme kısa sürelerde etkin çözümler üretmesi nedeniyle dinamik gerçek hayat optimizasyon problemlerinde (deniz gözetleme operasyonları, İHA'lar ile yapılan arama-kurtarma-gözetleme problemleri, güvenlik kameralarının rotalanması, robotik sistemlerin çizelgelenmesi, denizyolu ve karayolu trafiğinin yönlendirilmesi, vb..) etkili bir şekilde kullanılabilmesi öngörülmektedir. Ayrıca, Çok Vuruculu, Çok Amaçlı, Zaman Pencere ve Kapasite Kısıtlı HHGSP de tek çözüme dayalı ve popülasyona dayalı çözüm yöntemlerinin karşılaştırıldığı ilk çalışma olması nedeniyle de literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde probleme ilişkin bilgiler verilmekte, üçüncü bölümde problemin çözümünde kullanılan metodolojiler takdim edilmektedir. Dördüncü bölümde, problemlerdeki veri setlerine ilişkin bilgiler verilmekte ve Taguchi yöntemi kullanılarak algoritmalara ilişkin parametre değerleri belirlenmektedir. Beşinci bölümde uygulama çalışması gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar analiz edilmektedir. Son olarak altıncı bölümde ise çalışmaya ilişkin genel değerlendirmeler yapılmakta ve gelecek çalışmalara ilişkin öngörülerde bulunmaktadır.

## 2. HAREKETLİ MÜŞTERİLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (MOVING CUSTOMER VEHICLE ROUTING PROBLEM)

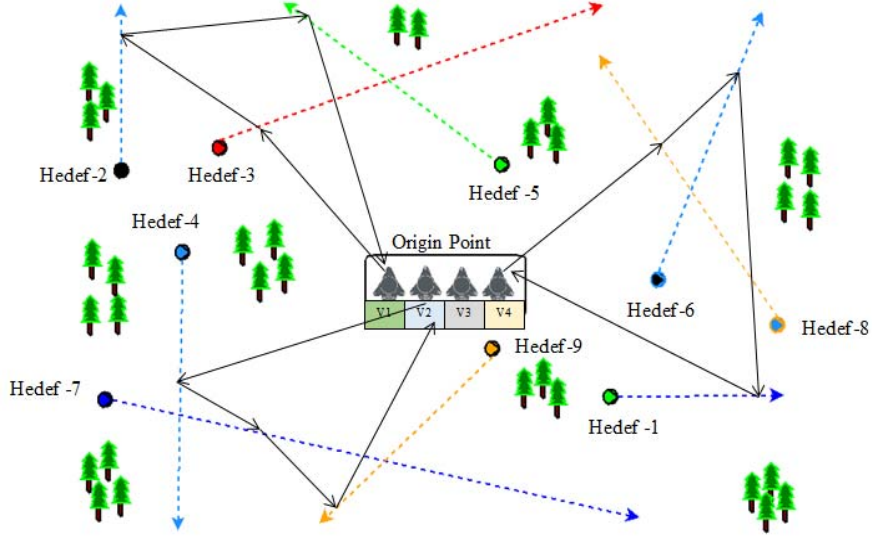
HM-ARP temel olarak şu şekilde tanımlanmaktadır.  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  hedeflerin(müşterilerin) kümesi olmak üzere, her bir  $s_i$  hedefi, sabit bir  $r_i$  hızına,  $[b_i, n_i]$  zaman penceresine,  $c_i$  hedefi etkisiz hale getirmek için gerekli mühimmat sayısına ve  $p_i$  başlangıç pozisyonuna sahip olmaktadır. Vurucular kümesi  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  setinden oluşmak üzere, her bir vurucu sabit bir  $k_i$  hızına,  $y_i$  başlangıç pozisyonuna,  $f_i$  uçuş/yakıt/mühimmat kapasitesine,  $a_i$  başlangıç maliyetine ve  $h_i$  uçuş maliyetine sahip olmaktadır. Ayrıca tüm vurucuların, hedeflerden fazla hızı ( $k_i > |r_i|$ ) sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu koşullar altında vurucuların ilgili kapasite kısıdını aşmadan, orijinden başlayıp, tüm hedefleri imha edip tekrar orijine döneceği, minimum görev sürelili ve görev maliyetli rotanın bulunması problemi HM-ARP olarak ifade edilmektedir. Problemin görsel gösterimi Şekil 1'de belirtilmektedir.

Şekil 1'deki problemde, operasyon alanında dört adet vurucu ve dokuz adet hedef bulunmaktadır. Vurucular farklı hızlara, farklı havada kalma sürelerine (uçuş kapasitesine) ve farklı görev maliyetlerine (başlangıç maliyeti + uçuş süresi\*uçuş maliyeti) sahip olmaktadır.

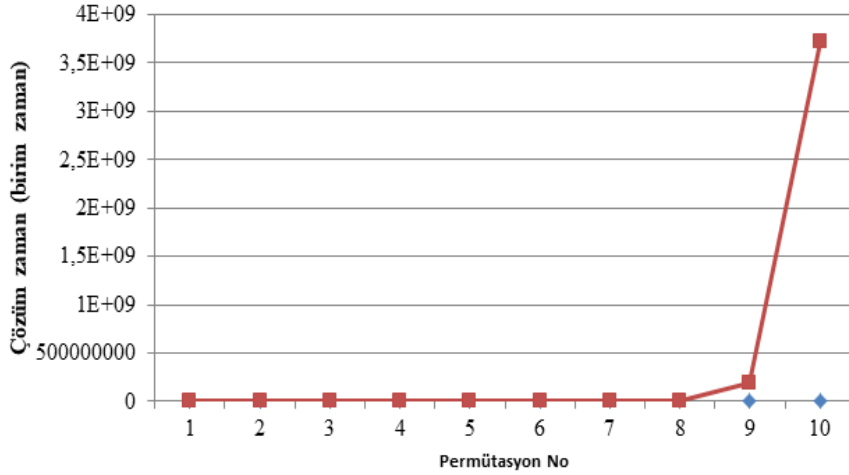
Temel amaç, kapasite ve zaman penceresi kısıtları altında toplam görev süresi ve görev maliyetini minimize edecek şekilde problemi çözmektir. Belirtilen amaçların sağlanması ile operasyonda daha az sayıda aracın kullanılacağı öngörülmektedir. Fazla sayıda İHA kullanılması bakım maliyetlerini artırmakta, bölgedeki düşman hedeflerini uyandırmakta ve İHA kullanım ömrünü azaltmaktadır. Bu nedenden dolayı operasyonlarda az sayıda İHA kullanılması istenmektedir [16]. Şekil 1'deki tur rotasına göre dört vurucudan üçü kullanılmakta, Vurucu 1(V1), “0-Hedef 3-Hedef 2-Hedef 5-0” sırasıyla, Vurucu 2(V2) “0-Hedef 4-Hedef 7-Hedef 9-0” sırasıyla ve Vurucu 4(V4), “0-Hedef 8-Hedef 6-Hedef 1-0” sırasıyla hedefleri imha etmektedir.

HM-ARP, operasyon alanında çok sayıda vurucu bulunması, bunlara ilişkin yakıt/mühimmat kapasitelerinin tanımlanması, herhangi bir hedef için birden fazla mühimmata ihtiyaç duyulması ve minimum sayıda araç ile ilgili görevi gerçekleştirilmesi nedeniyle HHGSP'den ayrılmaktadır. Buna ek olarak sistem içerisinde hedeflerin//müşterilerin belirli bir hız ve açı ile hareket etmesi nedeniyle de Dinamik-ARP den ayrılmaktadır.

Hem Gezgin Satıcı Probleminin hem de Araç Rotalama Probleminin NP-Hard sınıfında yer alması nedeniyle, HM-ARP'nin de NP-Hard bir problem olduğu öngörülmektedir. “n” adet vurucu ve “r” adet hedefin bulunduğu bir problemde çözüm sayısı  $(n^r) * (r!)$  dir. Vurucu ve hedef sayısı arttığı zaman çözüm sayısı ve süreside artmaktadır. Örneğin 2 vuruculu bir sistem için hedef sayısı arttıkça problemdeki çözüm sayısı ve birim çözüm süresindeki artış Tablo 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Hareketli müşteri araç rotalama problemi (Moving customer vehicle routing problem)



Şekil 2. HM-ARP için çözüm süresindeki artış (The increase in solution time for the MC-VRP)

**Tablo 1.** HM-ARP için çözüm sayısı  
(Number of solutions for MC-VRP)

Permütasyon Sıra No	Vurucu Sayısı	Hedef Sayısı	Çözüm sayısı
1	2	1	2
2	2	2	8
3	2	3	48
4	2	4	384
5	2	5	3840
6	2	6	46.080
7	2	7	645.120
8	2	8	10.321.920
9	2	9	185.794.560
10	2	10	3.715.891.200

Problemdede hedefler herhangi bir “t” zamanında anlık olarak belirebilmekte, vurucu bir hedefi imha ettikten sonra bir sonraki hedef sisteme girmemişse, vurucunun havada belirli bir t süre beklemesi gerekmektedir. İnsansız Hava Araçları havada sabit kalamayan ve sürekli hareket etmesi gereken hava araçlarıdır. Bu nedenden dolayı sistemde hedef bulunmadığı durumda İHA'nın davranışının rota planına dâhil edilmesi gerekmektedir. Mevcut çalışmalarda bu durum göz ardı edilmekte ve İHA başlangıç noktasına giderek turu sonlandırmaktadır. Bu durum fazla İHA kullanımına neden olmakta ve maliyetleri artırmaktadır.

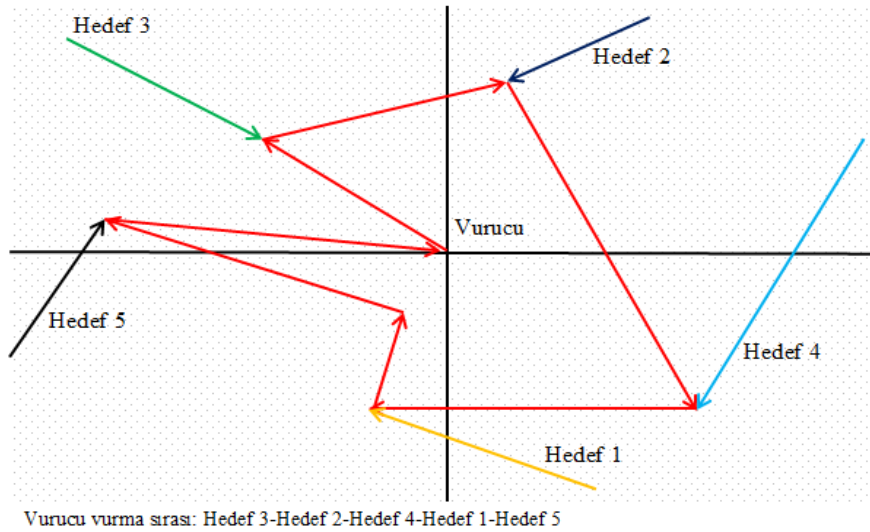
Makalede belirtilen problemin üstesinden gelmek için sistemde hedef bulunmadığı zaman vurucu orijine doğru yönlendirilmekte ve hedef sistemde belirdiği an vurucu rotasını değiştirip ilgili hedefi imha ettikten sonra rotasını

yeniden planlamaktadır. Bu işlem vurucu kapasitesi yetersiz olana ya da sistemde hedef kalmayana kadar devam etmektedir. İlgili yöntemin adımları Şekil 3'de gösterilmektedir. Gerçek hayat problemlerinde uzman kişiler, hedeflere ilişkin bilgilerin belirlenmesinde, İnsansız Hava Araçlarından, Mobese ve Güvenlik Kameralarından, telefon vb. iletişim araçları ile istihbarat ya da güvenlik elemanlarından yararlanıldığını ifade etmişlerdir [55].

Literatürde belirtilen probleme en yakın çalışma Groba vd., yaptıkları çalışmadır [76]. Bu çalışmada, Hint okyanusundaki balıkçı gemileri tarafından balık toplama cihazlarının minimum seyahat amacı doğrultusunda toplanması problemi ele alınmıştır. Probleme balıkçı gemileri de balık toplama cihazları da hareket etmektedir. Fakat bu çalışma bazı nedenlerden dolayı Groba vd., yaptıkları çalışmadan ayrılmaktadır. Groba vd., çalışmasında zamanı kesikli olarak ele alınmışken, bu çalışmada zaman sürekli olarak dikkate alınmıştır. Groba vd., çalışmasında hareket eden hedefler (balık toplama cihazları ya da düğümler) için herhangi bir zaman penceresi kısıdı söz konusu değilken, bu çalışmada her bir hedef belirli bir zaman penceresine sahip olmaktadır. Groba vd., çalışmasında sistemdeki hedef ya da düğüm sayısı zaman içerisinde değişmezken, bu çalışmada herhangi bir t anında sistemdeki düğüm sayısı değişebilmektedir. Groba vd., çalışmasında gemilere ya da gezici araçlara ait herhangi bir kapasite kısıdı dikkate alınmamışken, bu çalışmada her bir SIHA için kapasite kısıdı tanımlanmış ve bu kısıtlama altında rotalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Groba vd., çalışmasında gezici araçların tamamı kullanılmışken, bu çalışmada hız ve maliyet özellikleri dikkate alınarak filodaki araçlardan uygun olanları seçilmiş, fazla sayıda araç kullanılmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Groba vd., çalışmasında maliyet ile ilgili herhangi bir amaç dikkate alınmamışken, bu çalışmada hem görev süresi hem de görev maliyeti amaçları dikkate alınmış ve eş zamanlı minimize edilmeye

çalışılmıştır. HM-ARP için çok sayıda amaç ve kısıtlama bulunabilmekte, bu çalışmada incelenen problem için tanımlanan varsayımlar ve kısıtlamalar aşağıda belirtilmektedir.

- Herhangi bir vurucu, tüm hedeflerden daha fazla hızla hareket etmelidir.
- Herhangi bir vurucu, ilgili rotasındaki hedefleri imha ettikten sonra başlangıç noktasına dönmeli ve tüm hedefler imha edilmelidir.
- Vurucular ve hedefler, (x,y) koordinat düzleminin dört ayrı bölgesi üzerinde farklı hızlarda ve doğrultularda hareket edebilirler.
- Vurucular ve hedefler sistem içerisinde sabit bir hızla hareket etmektedir.
- Vurucular farklı hızlara, açılara ve görev maliyetlerine sahip olabilirler.
- Hedeflerin açıları zaman içerisinde değişmemektedir.
- Hedefler tanımlanmış giriş ve çıkış zamanları içerisinde sistem üzerinde hareket edebilmektedir.
- Vurucuların uçuş zamanı kapasitesinin sınırlı olduğu, mühimmat kapasitesinin ise sınırsız olduğu varsayılmaktadır.
- Her bir hedefi imha etmek için 1 adet mühimmata ihtiyaç duyulmaktadır.
- Vurucuların  $t=0$  anında, hedeflerin ise ilgili zaman aralığında sistemde hazır bulunduğu ve bunlara ait hız, konum ve açıların (vurucu açısı hariç) bilindiği varsayılmaktadır.
- Çalışma içerisinde hedef hızlarının 30 km/sa ile 400 km/sa arasında, vurucu hızının (401, 700) km/sa arasında, hedef ve vurucu açılarının 0 ile 360 derece arasında son olarak da hedeflerin başlangıç konumlarının ( $\pm 400$  km,  $\pm 400$  km) koordinatları arasında olabileceği varsayılmaktadır.
- Amaç, minimum görev zamanlı ve görev maliyetli turu bulmaktır.



Şekil 3. HM-ARP için sistemde hedef bulunmadığı durumda vurucunun sergilediği davranış  
(The behaviour of the UAVs when there is no target in the operation area)



Bölüm 3 içerisinde, yukarıda belirtilen varsayımlar doğrultusunda HM-ARP çözmek için önerilen çözüm yaklaşımları ifade edilmekte, bölüm 4 de ise önerilen algoritma farklı veri setleri üzerinde test edilerek etkinliği belirlenmeye çalışılmaktadır.

### 3. ÇÖZÜM METODOLOJİSİ (SOLUTION METHODOLOGY)

HM-ARP'nin dinamik bir yapıya sahip olması, problem içerisindeki parametrelerin ve sistemdeki hedef sayısının anlık olarak sürekli değişmesi ve konum bilgilerinin her bir hedef imha edildikten sonra yeniden hesaplanması gereksinimi nedeniyle problemin matematiksel modelleme yaklaşımlarıyla çözülmesi oldukça zor olmaktadır. Yapılan literatür taramasında, zamanın kesikli olarak ele alındığı, hedef ve vurucu sayısının az olduğu problemler için geliştirmiş matematiksel modeller bulunmakta fakat bu modeller zamanın sürekli olduğu gerçek hayat problemlerinde uygulanamamaktadır. Ayrıca geliştirilen modellerde vurucu ve hedef sayısı arttıkça kabul edilebilir çözüm zamanları içerisinde çözümler elde edilememektedir. Bu nedenden dolayı literatürdeki çalışmalarda ilgili problem türlerini çözmek için probleme özgü sezgiseller ya da meta-sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ilgili problem için minimum görev süresi ve görev maliyeti amaçları doğrultusunda optimal tur rotası, sezgisel ve metasezgisel algoritmalarla belirlenmeye çalışılmıştır. Makalede kullanılan algoritmalarla ilişkin bilgiler aşağıdaki bölümlerde ifade edilmiştir.

#### 3.1. Çok Hedefli-Çok Vuruculu Rotalama Algoritması (Multi Target – Multi Pursuer Routing Algorithm)

Çok Hedefli-Çok Vuruculu Rotalama Algoritması (ÇARA), HM-ARP için geliştirilen ve literatürde ilk kez kullanılan bir çözüm kurucu sezgisel algoritmadır. Algoritmada hedefler

için sisteme giriş zamanlarına ve sistemden ayrılış zamanlarına göre bir öncelik sırası oluşturulmakta ve vurucular bu sıraya göre kendi uçuş kapasitelerini dikkate alarak sistemdeki hedeflerin tamamını imha etmeye çalışmaktadır. Algoritmaya ilişkin bilgiler, Tablo 2. içerisinde gösterilmektedir.

#### 3.2. Rassal Hedef İmha Algoritması (Random Target Destruction Algorithm)

Rassal Hedef İmha Algoritmasında (RASA), her bir iterasyonda vurucu ve hedefler için rassal olarak bir görev sırası belirlenir. Hedefler ilgili rassal sıraya göre vurucular tarafından imha edilir. Sistemde bir vurucu, kapasitesi yetene kadar hedefleri imha etmeye devam eder. Kapasitesinin yetmediği durumda ise o vurucu için tur sonlanır ve sıradaki vurucu, bir sonraki hedefi imha etmek için harekete geçer. Sistemdeki tüm hedefler imha edilinceye kadar bu işlem devam eder. Algoritma N iterasyona ulaşınca sonlanır ve en iyi amaç değerleri çıktı olarak kullanıcıya sunulur.

#### 3.3. Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)

Holland tarafından geliştirilen Genetik Algoritma[77], çözüm popülasyonunun evrimsel sürecinin simüle edildiği, farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılan meta-sezgisel bir çözüm metodolojisidir [78]. Bu metodolojide farklı sayıda çözümden oluşan bir başlangıç popülasyonundan hareketle iteratif adımlarla ilerleyerek ve çeşitli çözüm mekanizmaları kullanarak optimal çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Yöntem içerisinde çözümü etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Çözümün gösterimi, yeni yığın seçilmesi, çaprazlama ve mutasyon operatörleri bu parametrelerden bazılarıdır. Aşağıdaki bölümlerde bu çalışmada kullanılan çözüm algoritması ve belirtilen parametrelerin özellikleri tanımlanmaktadır.

**Tablo 2.** Çok Hedefli-Çok Vuruculu Akıllı rotalama algoritması  
(Multi Target–Multi Pursuer routing algorithm)

---

$N = \text{vurucu sayısı}, P\{i\} = \{1, \dots, N\}$  vurucuların kümesi  
 $M = \text{hedef sayısı}, Q\{r\} = r\{1, \dots, M\}$  hedeflerin kümesi,  $G\{r\}$  hedef giriş zamanı,  $C\{r\}$  hedef çıkış zamanı  
 $K\{i\} = i.$  vurucunun kapasitesi,  $D\{i\} = i.$  vurucunun orijine dönme zamanı  
 $Y\{r\} = \text{hedef imha etme sırası ve } Y\{r\} = Q\{r\}, T\{r\} = r.$  hedefin imha edilme zamanı

for  $r \leftarrow 1$  to  $M - 1$   
  for  $j \leftarrow r + 1$  to  $M$   
    if  $G\{j\} < G\{r\}$  then  $Y\{j\} \leftrightarrow Y\{r\}$   
    else if  $G\{j\} = G\{r\}$  and  $C\{j\} < C\{r\}$  then  $Y\{j\} \leftrightarrow Y\{r\}$   
  for  $r \leftarrow 1$  to  $M$  and  $i \leftarrow 1$   
    if  $Y\{r\}$  hedefi operasyon alanına girmişse  
      if  $T\{r\} < K\{i\}$  and  $T\{r\} < C\{r\}$  and  $D\{i\} < K\{i\}$  then  $Y\{r\}$  hedefini  $P\{i\}$  vurucusu tarafında imha et.  
      Sistemdeki hedeflerin ve vurucunun bilgilerini güncelle,  $r = r + 1$   
      else  $i = i + 1$  and  $r = r - 1$   
    else if  $Y\{r\}$  hedefi operasyon alanına girmemişse  $P\{i\}$  vurucusunu orijine yönlendir  
       $\{r\}$  hedefi sisteme girdiği an,  $P\{i\}$  vurucusunu hedefe yönlendir, konum ve zaman bilgilerini güncelle  
      if  $T\{r\} < K\{i\}$  and  $T\{r\} < C\{r\}$  and  $D\{i\} < K\{i\}$  then  $Y\{r\}$  hedefini  $P\{i\}$  vurucusu tarafında imha et.  
      Sistemdeki hedeflerin ve vurucunun bilgilerini güncelle,  $r = r + 1$   
      else  $i = i + 1$  and  $r = r - 1$   
      else  $i = i + 1$  and  $r = r - 1$

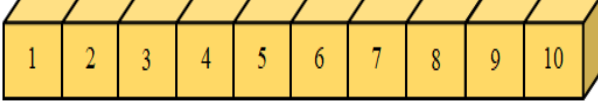
---

Vurucu ve hedeflere ilişkin tur bilgilerini raporta

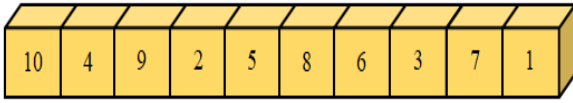
---

### 3.3.1. Çözüm gösterimi (Solution representation)

Genetik Algoritma'da problem türüne göre çözüm gösterimi çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılması düşünülen çözüm gösterimi ve kromozom yapısı Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. HM-ARP için 10 hedefli bir kromozom  
(A chromosome structure for MC-VRP with 10 targets)



Şekil 5. 10 hedefli bir kromozom için örnek tur sırası  
(Sample tour order relating a chromosome with 10 targets)

Şekil 4'e göre ele aldığımız problemde her bir kromozom 10 adet genden oluşmaktadır. Buna göre her bir gen, vurulması gereken bir hedeftir ve bir vurucu tarafından vurulması gerekmektedir. Şekil 5'de belirtilen bilgiler doğrultusunda tek bir vurucuya ait görev sırası gösterilmektedir. Şekil 5'deki kromozoma göre hedefler 0-10-4-9-2-5-8-6-3-7-1-0 sırasında vurulmuştur. Bu tek vuruculu bir problem için böyledir. Vurucu sayısı iki olduğunda Şekil 5'deki kromozom şu şekilde yorumlanmaktadır. Birinci vurucu 0-10-4-9-2-5-0, ikinci vurucu ise 0-8-6-3-7-1-0 rotası ile hedefleri vurmaktadır. Vurucu sayısı arttıkça ilgili kromozom eşit parçaları bölünmeye çalışılmakta ve her bir vurucu için görev süresi ve maliyeti ayrı olarak hesaplanmaktadır. Toplam görev süresi ve görev maliyeti ise uygunluk fonksiyonunu oluşturulmaktadır. Amaç gen sayısının az olduğu tek satırlı bir gösterim üzerinden sistemi yorumlamaktadır. Üç vuruculu ve on hedefli bir sistem için kromozom yapısı Şekil 6'da sunulmaktadır. Şekil 6'daki kromozoma göre; vurucu 1 için görev rotası = 0-10-4-9-2-0, vurucu 2 için görev rotası = 0-5-8-6-0 ve vurucu 3 için görev rotası = 0-3-7-1-0'dır.

### 3.3.2. Başlangıç popülasyonunun üretilmesi (Generation of the initial population)

Bu çalışmada başlangıç popülasyonu rassal olarak belirlenmiş ve yeni yığın seçimi bu popülasyondan hareketle tespit edilmiştir.

### 3.3.3. Yeni yığın seçim mekanizması (New population selection mechanism)

Yığın seçim mekanizması olarak turnuva mekanizması kullanılmaktadır. Turnuva mekanizması genetik arama algoritması içerisindeki kromozom ailesini belirlemek için kullanılmaktadır [76]. Bu mekanizmaya göre, n kromozomlu bir popülasyonda her bir kromozom için rassal olarak

seçilmiş m kromozom turnuvaya sokulmakta ve en iyi birey, yeni yığının ilgili kromozomuna aktarılmaktadır.

### 3.3.4. Çaprazlama (Crossover)

Çaprazlama işlemi, farklı kromozom aileleri üretmek ve çözüm uzayında aramayı farklı noktalara yönlendirerek yerel optimuma takılmayı engellemek için kullanılmaktadır. Çaprazlama işlemi için literatürde çeşitli yöntemler bulunmakta, bu çalışmada ilgili işlem için PMX (Partially Mapping Crossover) operatörü kullanılmaktadır. Bu operatörde kromozom içerisindeki rassal olarak n adet gen seçilmekte ve bu genler diğer kromozomun genleri ile yer değiştirilerek yeni bireyler oluşturulmaktadır.

### 3.3.5. Mutasyon (Mutation)

Mutasyon operatörü, çözüm uzayında yoğunlaşma (intensification) yapmak amacıyla kromozomda var olan genlerin belirli bir kabul olasılığına göre bir ya da birkaçında değişiklik yapılmasını sağlayan operatördür. Genel olarak çalışmalarda ikili yer değiştirme, tersine çevirme ya da araya ekleme yöntemiyle bireylerde değişiklik yapılmaktadır. Bu çalışmada ikili yer değişme ile mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir.

### 3.3.6. Uygunluk fonksiyonu (Fitness function)

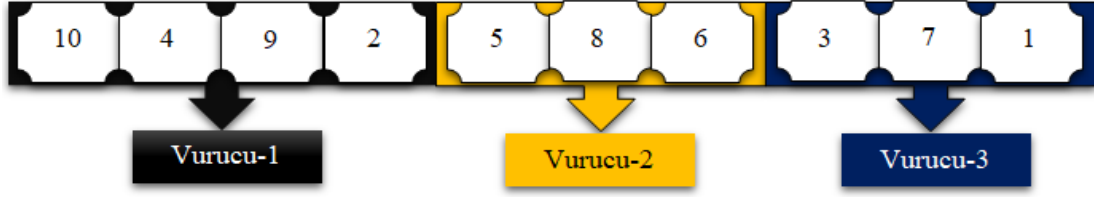
Uygunluk fonksiyonu, genetik algoritma içerisindeki kromozomların ya da bireylerin problem için iyi veya uygun bir çözüm olup olmadığını belirleyen fonksiyondur [79]. Bu çalışmada uygunluk fonksiyonu içerisinde toplam görev süresi ve görev maliyeti eş zamanlı olarak minimize edilmeye çalışılmaktadır. Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda geliştirilen Genetik Algoritma, Tablo 3'de gösterilmektedir.

### 3.4. NSGA-II Algoritmasına Dayalı Çözüm Yaklaşımı (NSGA-II Algorithm Based Solution Approach)

Çok Amaçlı Optimizasyon Problemleri NP-Zor özelliğe sahip olmakta, bu nedenden dolayı herhangi bir problem için tüm bastırılmamış çözümler ya da baskın noktalar enumerasyon (bireleme) yöntemi kullanılarak elde edilebilmektedir [80].

Ancak tüm bastırılmamış çözümlerin bulunması zor olacağından ve oldukça zaman alacağından, belirli bir kalite ya da performans düzeyinde tüm bastırılmamış çözümler kümesine en yakın bir alt çözümler kümesinin oluşturulması Çok Amaçlı Optimizasyon Problemleri için büyük bir öneme sahiptir [81]. Bu çalışmada, diğer çözüm metodolojilerine kıyasla bağımsız amaçlardan oluşan problemlerde çok amaçlı optimizasyonu etkin bir şekilde yapabilmesi nedeniyle Çok Amaçlı Genetik Algoritma metodolojilerinden NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) yöntemi kullanılmıştır. Deb vd. 2002 yılında geliştirdiği NSGA-II Algoritması, NSGA algoritmasının sahip olduğu hesaplama karmaşıklığı, popülasyon sayısının büyük olduğu durumlarda sergilediği hesaplama güçlüğü ve elitizm stratejisinin eksikliği problemlerini gidermek için önerilmiştir.





Şekil 6. 3 vuruculu - 10 hedefli bir kromozom sistemi (A chromosome structure with 3 pursuers -10 targets)

**Tablo 3.** HM-ARP için önerilen Genetik Algoritma (Genetic Algorithm proposed for the MC-VRP)

---

**Adım 1. Başla,**  $t = 0$ ,  $vurucusayısı = 1$ ,  $degisimsay = 0$ ;  $artismiktari = \text{belirli iterasyonsayısı}$ ;  
 $S_{best} \leftarrow 0$ ,  $f(S_{best}) = \text{Max. value}$

**Adım 2.**  $P_t$  başlangıç yığını oluştur ve  $f(P_t)$ yi hesapla.  
 If zaman penceresi ve kapasite kısıtları sağlandıysa then  
 If  $f(S_{best}) > f(P_t)$  then  $f(S_{best}) \leftarrow f(P_t)$  ve  $S_{best} \leftarrow P_t$

**Adım3. While not {durdurma zamanı} do**  
 $t = t + 1$  yap ve  $P_{t-1}$  den belirtilen yığın seçim mekanizmasına göre  $P_t$  yi seç ve  $f(P_t)$ yi hesapla  
 If ilgili yığında herhangi bir kromozom için zaman penceresi ve kapasite kısıtları sağlandıysa then  
 If  $f(S_{best}) > f(P_t)$  then  $f(S_{best}) \leftarrow f(P_t)$  ve  $S_{best} \leftarrow P_t$   
 else  
 $degisimsay = degisimsay + 1$   
 Seçilen yeni yığına çaprazlama mekanizmasını uygula ve  $f(P_t)$ yi hesapla.  
 If ilgili yığında herhangi bir kromozom için zaman penceresi ve kapasite kısıtları sağlandıysa then  
 If  $f(S_{best}) > f(P_t)$  then  $f(S_{best}) \leftarrow f(P_t)$  ve  $S_{best} \leftarrow P_t$   
 else  
 $degisimsay = degisimsay + 1$   
 Seçilen yeni yığına mutasyon mekanizmasını uygula ve  $f(P_t)$ yi hesapla.  
 If ilgili yığında herhangi bir kromozom için zaman penceresi ve kapasite kısıtları sağlandıysa then  
 If  $f(S_{best}) > f(P_t)$  then  $f(S_{best}) \leftarrow f(P_t)$  ve  $S_{best} \leftarrow P_t$   
 else  
 $degisimsay = degisimsay + 1$   
 If  $degisimsay < vurucusayısı * artismiktari$   
 $vurucusayısı = vurucusayısı + 1$   
 If  $degisimsay < vurucusayısı * artismiktari$   
 $vurucuların \text{başlangıç sırasını degistir ve vurucu sayısı} = 0$  yap.

**Adım 4.** Minimum araç sayısı ve görev maliyetli tur rotası ve vuruş bilgilerini raporla.  
**Adım 5. Bitiş**

---

NSGA-II algoritması genetik algoritma bazlı çalışmakta, algoritma Hızlı Baskın Olmayan Sıralama Yaklaşımı (Fast Non-dominated Sorting), Yığılma Uzaklığı Sıralaması (Crowding Distance) ve Ana Döngü olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlere ilişkin bilgiler aşağıda belirtilmektedir [82].

#### 3.4.1. Hızlı baskın olmayan sıralama yaklaşımı (Fast non-dominated sorting approach)

Hızlı Baskın Olmayan Sıralama Yaklaşımı, popülasyonda baskın olan ya da çözümü domine eden bireylerin belirlenmesi için kullanılır. Bu bağlamda, popülasyon içerisindeki bireylerin amaç fonksiyonu değerleri her bir amaç için birbirleri ile karşılaştırılarak baskın olan bireylerin ya da çözümlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır [82].

#### 3.4.2. Yığılma uzaklığı sıralaması (Crowding distance assignment)

Yığılma uzaklığı sıralamasında, her bir cephedeki bastırılmamış çözümler kümesindeki bireyler, yığılma

uzaklığı değerlerine göre kendi aralarında sıralanır. İlgili çözümün sırası, çevresindeki çözümlerin ya da bireylerin yakınlığına göre belirlenir [78, 79, 80]. Bu yöntemde, bir popülasyondaki herhangi bir bireyin yığılma uzaklığını tespit etmek için her bir amaç bazında bu çözümün(i) çevresindeki iki bireyin ortalama uzaklığı hesaplanır. Bu uzaklığa göre ilgili cephedeki çözümler her bir amaç fonksiyonu için artan derecede sıralanır. Her bir amaç fonksiyonu için uçlardaki çözümlere sonsuz uzaklık (minimum ve maksimum) değerleri atanır. Uç çözümlerin arasında kalan çözümler için uzaklık değeri, iki komşu bireyin amaç fonksiyon değerlerine ait mutlak normalize edilmiş fark bulunarak hesaplanır. İlgili hesaplama adımları diğer amaç fonksiyonları için tekrarlanır. Her bir amaç için elde edilen bireysel uzaklık değerlerinin toplanması ile toplam yığılma uzaklığı değeri belirlenir [81, 83, 84].

Hesaplanan yığılma uzaklığı değerleri, yoğunluk karşılaştırma operatörünün kullanılmasıyla herhangi iki çözüm arasından ideal olanın belirlenmesi için kullanılır.

### 3.4.3. Ana döngü (Main loop)

Hızlı baskın olmayan sıralama yaklaşımı ve Yiğilma Uzaklığı Sıralaması adımlarını da içerisinde barındıran NSGA-II Algoritmasına dayalı çözüm yaklaşımına ait ana döngü Şekil 7’de gösterilmektedir. Bu algoritmada, Genetik Algoritmada olduğu gibi belirli bir iterasyon boyunca çözümde iyileşme olmazsa ya da uygun çözüm bulunamazsa vurucu sayısı bir artırılmaktadır. Eğer maksimum vurucu sayısına ulaşılmış ve belirli bir iterasyon boyunca iyileşme olmamışsa bu durumda vurucu sırası değiştirilmekte ve vurucu sayısı bir yapılarak problem tekrardan çözülmektedir. Bu sayede çözüm uzayında daha fazla alan taranmakta ve yerel optimuma takılma engellenerek daha kaliteli çözümlere ulaşılması amaçlanmaktadır.

### 3.5. Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)

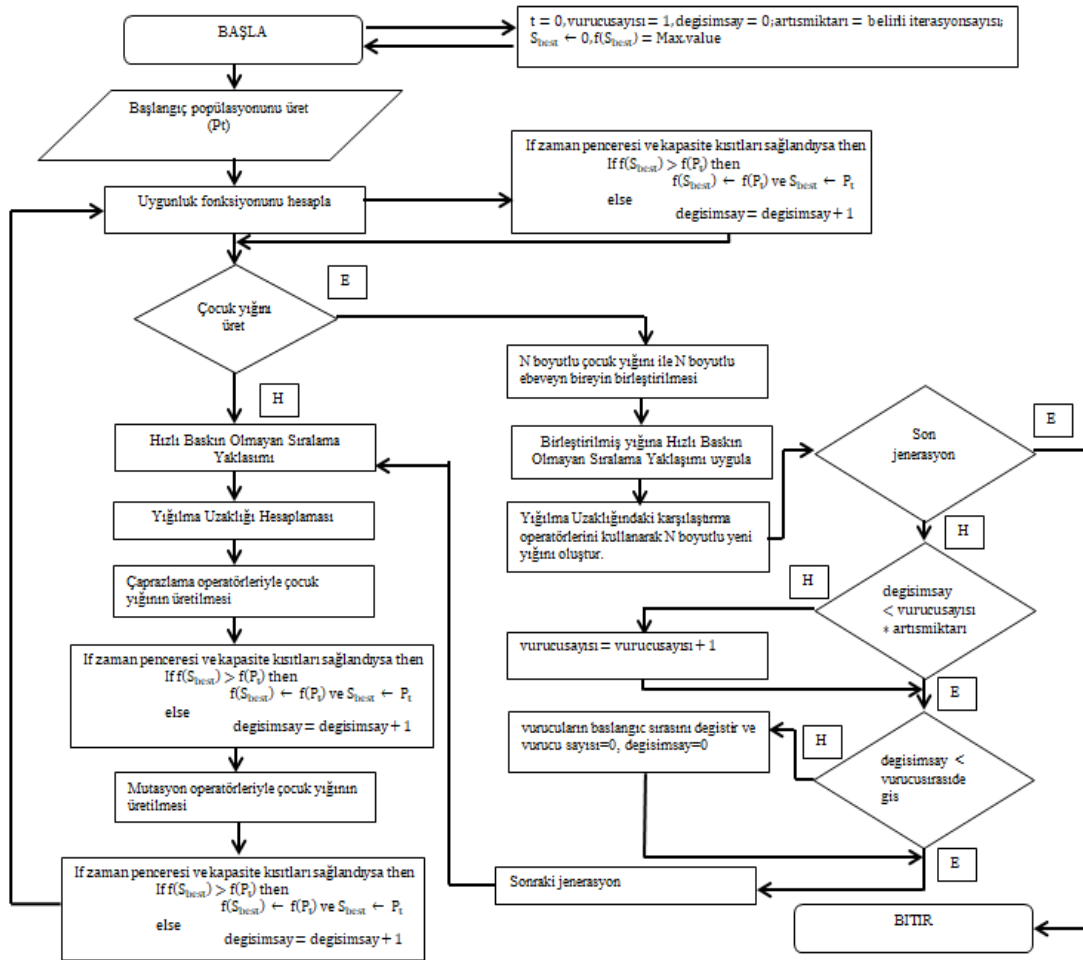
Tavlama Benzetimi, katıların fiziksel tavlama sürecinden hareketle, 1983 yılında, Kirckpatrick vd. tarafından geliştirilmiş, stokastik bir arama yöntemidir. Algoritma iteratif olarak ilerlemekte ve çözüm kalitesini artırmak için çeşitli hareket mekanizmaları kullanılmaktadır. Çözüm

kalitesini artıran hareketler sonraki adımda başlangıç çözümü olarak kabul edilirken, çözüm de iyileştirme yapmayan hareketler yerel optimale takılmamak için belirli bir yüzde ile kabul edilmektedir. Kötü çözümün kabul olasılığında ise Boltzmann olasılık faktörü ( $P = e^{(-\Delta/T)}$ ) kullanılmaktadır. [85] Tavlama Benzetimi Algoritması, büyük boyutlu problemin çözümünde, bilgiyi kullanması ve aramayı iyi yapması nedeniyle, sıklıkla başvurulan bir çözüm yöntemi olmaktadır. [86, 87, 57]. Tavlama benzetimi algoritması uygulanırken verilmesi gereken bazı kararlar vardır. Bunlar çözümün kalitesine ve çözüm hızına etki eden kararlardır. Bu çalışmada, algoritma içerisindeki parametreler için ideal değerlerin belirlenmesinde Taguchi metodu kullanılmakta ve ilgili analiz çalışması bölüm 4.2 içerisinde ifade edilmektedir.

## 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI (APPLICATION STUDY)

### 4.1. Problem Tasarımı (Problem Design)

Bu makalede ele alınan problem ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma bulunmadığından dolayı önerilen algoritmaların etkinliğini test etmek için vurucu ve hedef sayısının



Şekil 7. NSGA-II Algoritmasına dayalı çözüm yaklaşımı (NSGA-II algorithm based solution approach)

değişiklik gösterdiği 30 farklı problem geliştirilmiştir. Problemler vurucu ve hedef sayısına göre gruplandırılmıştır. Bu gruplar: Tip-1(5 vurucu, 10 hedefli), Tip-2(6 vurucu, 15 hedefli), Tip-3(7 vurucu, 20 hedefli), Tip-4(8 vurucu, 25 hedefli), Tip-5(9 vurucu, 30 hedefli), Tip-6(10 vurucu, 35 hedefli). Bu gruplandırma sayesinde vurucu ve hedef sayısı arttıkça algoritmaların verdiği tepkinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.2. Parametre Konfigürasyonu (Parameter Configuration)

Parametre konfigürasyonu algoritmanın etkinliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Tavlama Benzetimi, NSGA-II ve Genetik Algoritmada çözümün hızına ve kalitesine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Klasik deneysel tasarım metotları çok karmaşıktır ve uygulamada çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Buna ek olarak, parametre sayısı arttıkça uygun parametre setini elde etmek için çok sayıda deney yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, uygun parametre setini belirlemek için Taguchi metodu kullanılmıştır. Literatürde parametre optimizasyonu için Taguchi metodunun kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu metotta, küçük sayıda denemelerle parametre uzayının tamamının taranması için özel tasarlanmış ortogonal diziler kullanılmaktadır. Bu diziler sayesinde, daha az deneme yaparak daha uygun parametre setleri elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada önerilen NSGA-II algoritması ve Genetik Algoritmada yedi parametre vardır: “popülasyondaki birey sayısı (P.B.S)”, “çaprazlama oranı (Ç.O)”, “mutasyon oranı M.O.)”, “çaprazlamada yer değişecek eleman sayısı (Ç.Y.S)”, “turnuvada karşılaştırılacak eleman sayısı (T.K.S)”, “durdurma kriterinde kullanılan “toplam iterasyon sayısı(T.İ.S)”, vurucu sayısını kaç iterasyon sonra

artırılacağını belirleyen “Vurucu Sayısı Artış Miktarı (V.S.M)” dır. Bu parametreler için uygun değerlerin belirlenmesi için parametre ayarlaması yapılması gerekmektedir. Bu değerlerden “T.K.S”, popülasyon boyutuna bağlı olmakta ve bu değer popülasyondaki birey sayısının %60 olarak belirlenmektedir. Buna ek olarak, geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasında beş parametre bulunmaktadır: durdurma kriteri (D.K.), soğutma oranı ( $\alpha$ ), her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı (N), başlangıç sıcaklığı (T0) ve son sıcaklık (Tf). Bu parametreler arasından N parametresi yani her bir sıcaklıkta aranacak komşu sayısı deterministik olarak belirlenmektedir. D.K. ise algoritmaların aynı çözüm zamanları cinsinden değerlendirilmesi için Genetik Algoritmaya ilişkin elde edilen çözüm zamanlarından hareketle belirlenmiştir. Komşuluk değişim mekanizması olarak ise swap ve insert yöntemleri kullanılmakta, her bir iterasyonda aranacak komşu sayı, swap ve insert mekanizması ile elde edilecek olası tüm çözümlerin sayısı kadar olmaktadır. Diğer dört parametre için parametre ayarlaması yapılması gerekmektedir. Tavlama Benzetimi, GA ve NSGA-II için konfigürasyonlarda kullanılan parametreler ve bunların seviyeleri Tablo 4’de gösterilmektedir.

Taguchi metodunda denemelerin sayısı, parametre sayısı ve seviyesine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada, Taguchi metodunun kullanılmasında Minitab 17.0 programından yararlanılmış, Minitab 17.0 programına göre, 6 parametre ve her bir parametrenin 3 seviyeye sahip olduğu deney seti için 27 deney yapılması ve L27 ortogonal diziliminin kullanılması gerektiği önerilmiştir. Bu nedenden dolayı parametre optimizasyonu için her bir problem tipindeki senaryolarda L27 dizisine göre 27 adet deneme yapılarak ideal parametre seti belirlenmiştir. Tavlama

**Tablo 4.** Konfigürasyonda kullanılan parametreler ve seviyeleri (Parameters and levels used in the configuration)

Problem Tipi	Level	Genetik Algoritma ve NSGA-II						Tavlama Benzetimi Algoritması				
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E
		P.B.S	Ç.O	M.O.	Ç.Y.S	T.İ.S	V.S.M	T0	Tf	S.C.	$\alpha$	V.S.M.
Tip 1	1	10	0,80	0,01	3	4000	400	100	0,5	25	0,85	400
	2	20	0,90	0,05	6	6000	600	200	0,75	25	0,9	600
	3	30	0,99	0,1	9	8000	800	300	1	25	0,95	800
Tip 2	1	10	0,80	0,01	6	4000	400	100	0,5	1,5	0,85	400
	2	20	0,90	0,05	9	6000	600	200	0,75	1,5	0,9	600
	3	30	0,99	0,1	12	8000	800	300	1	1,5	0,95	800
Tip 3	1	40	0,80	0,01	9	6000	600	200	0,5	2,5	0,85	600
	2	50	0,90	0,05	12	8000	800	300	0,75	2,5	0,9	800
	3	60	0,99	0,1	15	10000	1000	400	1	2,5	0,95	1000
Tip 4	1	40	0,80	0,01	12	6000	600	200	0,5	4	0,85	600
	2	50	0,90	0,05	15	8000	800	300	0,75	4	0,9	800
	3	60	0,99	0,1	18	10000	1000	400	1	4	0,95	1000
Tip 5	1	70	0,80	0,01	15	8000	800	300	0,5	12	0,85	800
	2	80	0,90	0,05	18	10000	1000	400	0,75	12	0,9	1000
	3	90	0,99	0,1	21	12000	1200	500	1	12	0,95	1200
Tip 6	1	70	0,80	0,01	18	8000	800	300	0,5	19	0,85	800
	2	80	0,90	0,05	21	10000	1000	400	0,75	19	0,90	1000
	3	90	0,99	0,1	24	12000	1200	500	1	19	0,95	1200

Benzetimi Algoritmasında ise 4 adet parametre bulunduğundan dolayı L9 ortogonal dizilimi kullanılmış ve her bir problem için 9 farklı deney yapılarak uygun parametre seti tespit edilmiştir. Bu makaledeki tüm deney çalışmaları 4 GB RAM'li ve Intel(R) Core(TM) i5-6200@ 2.3 GHz işlemcili bilgisayarlarda C# programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Analiz çalışması sonucunda her bir problem için elde edilen değerler normalize edilmiş ve ideal parametre seti, ilgili problem boyutu içerisinde her bir parametre seti için ortalama değerlerin alınmasıyla elde edilmiştir. Taguchi metodunda, deneysel verilerin analizi için en önemli kriter signal/noise(S/N) oranıdır. Hem maksimizasyon hem de minimizasyon problemleri için bu oranı maksimize eden parametre değerleri ideal parametre setini oluşturmaktadır. Bu değerler dikkate alınarak TB, GA ve NSGA-II için ideal parametre değerleri Tablo 5 ve 6'da gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Tavlama Benzetimi için parametre değerleri (Parameter values for Simulated Annealing)

Problem Tipi	T0	Tf	$\alpha$	V.SM.
Tip 1	300	0,75	0,9	600
Tip 2	200	1	0,9	600
Tip 3	400	1	0,9	800
Tip 4	200	0,75	0,9	800
Tip 5	500	0,5	0,95	800
Tip 6	400	0,75	0,95	800

**Tablo 6.** NSGA-II ve GA için parametre değerleri (Parameter values for NSGA-II and GA)

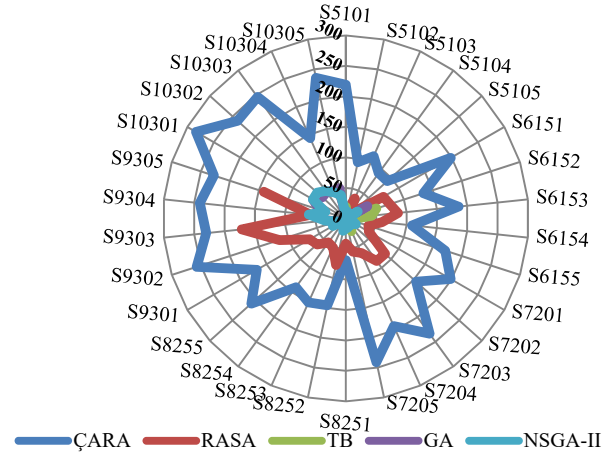
Problem Tipi	A	B	C	D	E	F
Tip 1	20	0,9	0,1	9	6000	400
Tip 2	30	0,9	0,05	6	8000	800
Tip 3	40	0,8	0,05	9	10000	600
Tip 4	50	0,9	0,05	15	8000	1000
Tip 5	90	0,9	0,1	15	10000	800
Tip 6	90	0,9	0,1	18	12000	800

4.3. Deneysel Analiz Çalışması (Experimental Analysis Study)

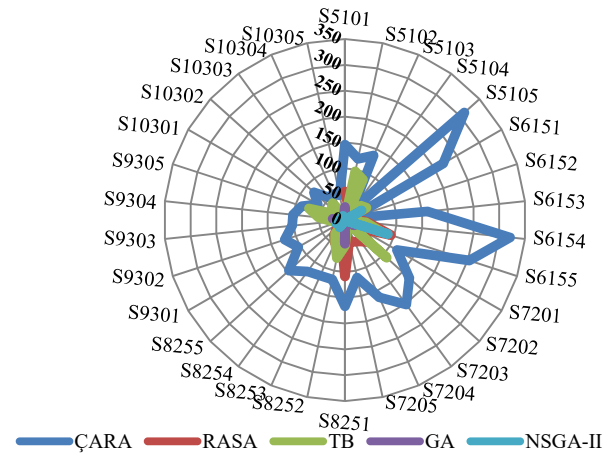
Makalede önerilen algoritmalar her bir senaryo için 10 kez çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 8-10'da verilmiştir. Şekil 8 ve 9'daki sonuçlardan Amaç-1 için en iyi algoritmanın Tavlama Benzetimi, Amaç-2 için ise en iyi Algoritmaların NSGA-II ve GA olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, Şekil 10'daki çözüm süreleri incelendiği zaman, NSGA-II Algoritmasının çözüm zamanının diğer algoritmalara kıyasla daha yüksek olduğu, RASA algoritmasının problemi oldukça kısa sürelerde çözdüğü, diğer algoritmaların ise benzer performanslar sergilediği tespit edilmiştir.

Bu sonuçların istatistiksel açıdan analiz edilmesinde ve algoritmaların performanslarının değerlendirilmesinde Friedman Anova Testi kullanılmıştır. Verilerin normal dağılmaması, grup sayısının üç ya da daha fazla olması ve tüm grup/koşullarda aynı deneklerin kullanılması nedeniyle

bu testin kullanılmasına karar verilmiştir. SPSS programında yapılan Friedman Anova Testi sonucunda algoritmaların performansları arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarından TB, GA ve NSGA-II algoritmaların ortalamaları birbirine yakın olduğu, TB algoritmasının diğer algoritmalarından daha düşük ortalamalara sahip olduğu ve sıralamaların ortalamasına bakıldığında GA'nın daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.** Algoritmaların, amaç-1(zaman) için bilinen en iyi değerden sapma miktarları (%) (Deviations of algorithms from best known value for goal-1 (time) (%))



**Şekil 9.** Algoritmaların, amaç-2 (maliyet) için bilinen en iyi değerden sapma miktarları (%) (Deviations of algorithms from best known value for goal-2 (cost) (%))

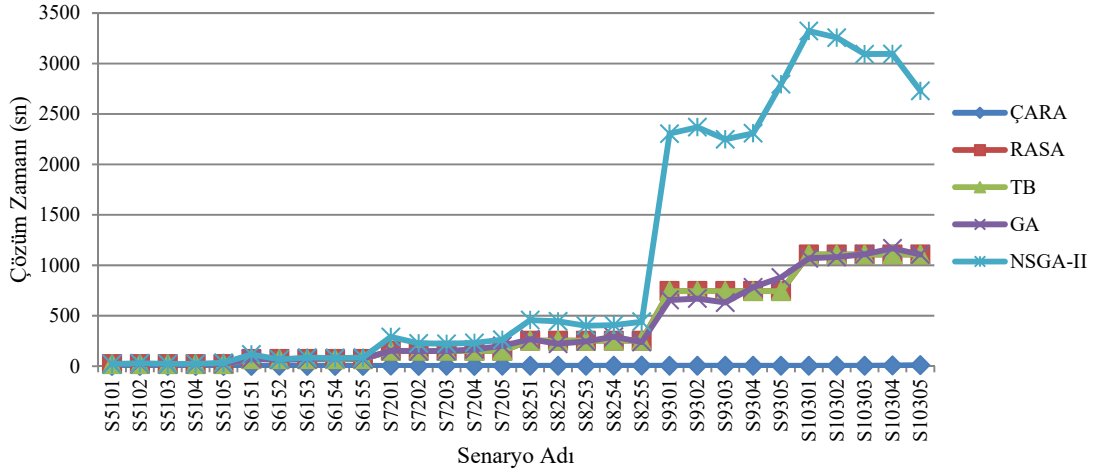
Anlamlı farklılığın neden kaynaklandığının belirlenmesi ve sezgisellerin ikili karşılaştırılması yapmak için ise post hoc testlerinden Wilcoxon testinden yararlanılmıştır. Wilcoxon Signed Ranked Test, aynı veri kaynağından elde edilen iki ölçüm sonuçları arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığının belirlenmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Eğer veri sayısı az, veri dağılım ölçüleri t-testinin koşullarını sağlamıyor ya da veriler sıralama ölçeğinde ise bu durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır. SPSS programında Wilcoxon yöntemi ile yapılan ikili karşılaştırmalara göre elde edilen sonuçlar Tablo 7'de gösterilmektedir. Tablo

7'deki sonuçlara baktığımızda, TB algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi olduğu, TB algoritması ile diğer algoritmalar arasında anlamlı bir farklılık bulunduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak GA ile NSGA-II arasında anlamlı bir farklılığın bulunmadığı belirlenmiştir.

Amaç 2(Görev Maliyeti) açısından sonuçlar yukarıda belirtilen istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmiş ve algoritmaların performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Grupların ortalamaları arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığının belirlenmesinde Friedman Anova Testinden yararlanılmış, test sonuçlarına göre, GA'nın diğer

algoritmalarından daha iyi olduğu, NSGA-II ile GA sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Anlamlı farklılığın neden kaynaklandığının belirlenmek ve algoritmaların ikili karşılaştırılması yapmak için post hoc testlerinden Wilcoxon testi kullanılmış ve sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8'deki sonuçlardan, GA'nın diğer algoritmalarından daha iyi olduğu belirlenmiş ve NSGA-II ile aralarında anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak hem GA hem de NSGA-II'nin, TB'den daha iyi olduğu tablodaki sonuçlardan anlaşılmıştır.



Şekil 10. Çözüm zamanı performansı (Solution-time performance (second))

Tablo 7. Amaç-1 için Wilcoxon Signed Ranked Test analiz sonuçları (Wilcoxon Signed Rank Test analysis results for goal-1)

Sezgisel-1	Sezgisel-2	Sezgisel1>Sezgisel2	Sezgisel2>Sezgisel1	Sezgisel1=Sezgisel2	Asymp.Sig.
ÇARA	RASA	25	5	0	0,00
ÇARA	TB	30	0	0	0,00
ÇARA	GA	30	0	0	0,00
ÇARA	NSGA-II	30	0	0	0,00
RASA	TB	29	1	0	0,00
RASA	GA	30	0	0	0,00
RASA	NSGA-II	29	1	0	0,00
TB	GA	11	18	1	0,013
TB	NSGA-II	10	19	1	0,04
GA	NSGA-II	9	18	3	0,171

Tablo 8. Amaç-2 için Wilcoxon Signed Ranked Test analiz sonuçları (Wilcoxon Signed Rank Test analysis results for goal-2)

Sezgisel-1	Sezgisel-2	Sezgisel1>Sezgisel2	Sezgisel2>Sezgisel1	Sezgisel1=Sezgisel2	Asymp.Sig.
ÇARA	RASA	25	5	0	0,057
ÇARA	TB	30	0	0	0,00
ÇARA	GA	30	0	0	0,00
ÇARA	NSGA-II	30	0	0	0,00
RASA	TB	21	9	0	0,045
RASA	GA	29	1	0	0,00
RASA	NSGA-II	28	2	0	0,00
TB	GA	24	5	1	0,00
TB	NSGA-II	24	5	1	0,00
GA	NSGA-II	12	16	2	0,219

Tablolardan ve istatistiksel analiz sonuçlarından hareketle, GA'nın hem zaman hem de maliyet amaçları için daha kısa çözüm zamanı içerisinde daha iyi çözümler üretmesi nedeniyle en etkili algoritma olduğu, bu algoritmayı ise NSGA-II ve TB algoritmalarının takip ettiği belirlenmiştir. NSGA-II'nin çözümü zamanının yüksek olması ve TB'nin amaç-2 de daha etkili çözümler üretmemesi, algoritmaların zayıf yönlerini göstermektedir. Geliştirilen çözüm kurucu sezgisel algoritmalar ÇARA'nın tüm senaryolarda oldukça kısa sürelerde başarılı çözümler ürettiği, RASA'nın ise vurucu sayısının 10, hedef sayısının 35 olduğu problemlerde belirtilen zaman aralığı içerisinde uygun çözümler üretmediği tablolardaki sonuçlardan anlaşılmaktadır. Buna ek olarak, tüm algoritmalar ortalamaların en iyi değerden sapma miktarlarının %10'un altında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, algoritmaların robust olduğunu ve farklı problem setleri üzerinde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Çok Amaçlı-Heterojen Filolu-Zaman Pencere-Kapasite Kısıtlı Hareketli Müşterili Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde GA, NSGA-II, Tavlama Benzetimi, ÇARA ve RASA olmak üzere 5 farklı algoritma kullanılmış ve algoritmaların etkinliği istatistiksel açıdan analiz edilmiştir. Analiz sayesinde popülasyon tabanlı algoritmaların, tek bir çözüme dayalı algoritmaların ve çözüm kurucu sezgisel algoritmaların HM-ARP ve HHGSP üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz sonucunda, Genetik Algoritmanın diğer algoritmalarla kıyasla, zaman ve maliyet amaçlarının eş zamanlı minimizasyonunu daha başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği belirlenmiştir. NSGA-II algoritmasının, Genetik Algoritma ile benzer sonuçlar ürettiği tespit edilmiş, çözüm zamanı açısından Genetik Algoritmanın daha avantajlı olduğu analiz sonuçlarından anlaşılmıştır. Tavlama Benzetimi algoritmasının Amaç-1 açısından oldukça başarılı bir performans sergilemiş, her iki amacın eş zamanlı minimizasyonunda ise performansının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak çözüm kurucu sezgisel algoritmalar, hedef ve vurucu sayısı düşük iken oldukça başarılı çözümler üretmiş, hedef ve vurucu sayısı arttıkça ise çözüm kalitesinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları, yığın tabanlı çözümlerin Çok Amaçlı-Heterojen Filolu HM-ARP ve MTTSP de, tek tabanlı çözümlerden daha iyi sonuçlar ürettiğini, çözüm kurucu sezgisellerin ise en zayıf algoritmalar olduğunu göstermiştir.

Makale, ele alınan problem ve geliştirilen algoritmalar açısından literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır. Önerilen algoritmalar HM-ARP gibi dinamik yapı ve büyük sayıda çözüm içeren problem tiplerini, kabul edilebilir çözüm zamanları içerisinde başarılı bir şekilde çözmüştür. Önerilen algoritmaların jenerik bir yapıya sahip olması ve robustluğunun güçlü olması nedeniyle HM-ARP ve HHGSP ye ek olarak, Dinamik Araç Rotalama Problemi, İnsansız Hava Aracı Rotalama Problemi, Dinamik Gezgin Satıcı

Problemi ve Robotik Sistemlerin Çizelgenmesi Problemleri gibi problem türlerinde de etkili bir şekilde kullanılabileceği öngörülmektedir.

Makalede dikkate alınan problem, literatürde ilk kez incelenen bir problem türü olmakta ve problemin genel versiyonu ile ilgili literatürde sınırlı çalışma bulunmaktadır. Gelecek çalışmalarda önerilen yöntemlerin geliştirilmesi ve farklı sezgisel ya da metasezgisel algoritmaların kullanılması ile daha iyi çözümlerin üretileceği öngörülmektedir. Buna ek olarak, problemin matematiksel modelleme gibi kesin çözüm yöntemleri ile çözümü zor olmakta, gelecek çalışmalarda bu durumu dikkate alan çalışmalara yönelmesi beklenmektedir. HM-ARP ve HHGSP gelişmekte olan problem türleridir. Gelecek çalışmalarda araştırmacılar, bu problemleri Lojistik, Trafik Yönlendirme ve Savunma Sistemlerine ait uygulama alanları ilişkilendirebilir ve bu alanlara yönelik çözüm yöntemleri geliştirebilirler.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Psaraftis, H.N., Dynamic vehicle routing: status and prospects, *Annals Of Operations Research*, 61 (1), 143-164, 1995.
2. Bertsimas, D.J., Van Ryzin, G., A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the Euclidean plane, *Operations Research*, 39 (4), 601-615, 1991.
3. Bertsimas, D.J., Van Ryzin, G., Stochastic and dynamic vehicle routing in the Euclidean plane with multiple capacitated vehicles, *Operations Research*, 4 (1), 60-76, 1993.
4. Liao, T.Y., On-line vehicle routing problems for carbon emissions reduction, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2017.
5. Haghani, A., Jung, S., A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times, *Computers & operations research*, 32 (11), 2959-2986, 2005.
6. Novoa, C., Storer, R., An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands, *European Journal of Operational Research*, 196 (2), 509-515, 2009.
7. Haghani, A., Jung, S., A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times, *Computers & operations research*, 3 (11), 2959-2986, 2005.
8. Potvin, J. Y., Xu, Y., Benyahia, I., Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times, *Computers & Operations Research*, 33 (4), 1129-1137, 2006.
9. Van Woensel, T., Kerbache, L., Peremans, H., Vandaele, N., Vehicle routing with dynamic travel times: A queueing approach, *European Journal of Operational Research*, 186 (3), 990-1007, 2008.
10. Taniguchi, E., Shimamoto, H., Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12 (3-4), 235-250, 2004.
11. Ning, T., Guo, C., Chen, R., A novel method for dynamic vehicle routing problem, *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 9 (1), 2015.



12. Chen, S., Chen, R., Gao, J., A Monarch Butterfly Optimization for the Dynamic Vehicle Routing Problem, *Algorithms*, 10 (3), 107, 2017.
13. Kilby, P., Prosser, P., Shaw, P., Dynamic VRPs: A study of scenarios, University of Strathclyde Technical Report, 1-11, 1998.
14. Ritzinger, U., Puchinger, J., Hartl, R. F. A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems, *International Journal of Production Research*, 54 (1), 215-231, 2016.
15. Ries, J., Ishizaka, A., A Multi-Criteria Support System for Dynamic Aerial Vehicle Routing Problems, In *Communications, Computing and Control Applications (CCCA)*, 2012 2nd International Conference on. IEEE, December, 1-4, 2012.
16. Karakaya, M. En Az Sayıda İnsansız Hava Aracı Kullanarak Sabit Hedeflerin Gözetlenmesinin Planlanması. <https://docplayer.biz.tr/4654060-En-az-sayida-insansiz-hava-araci-kullanarak-sabit-hedeflerin-gozetlenmesinin-planlanmasi.html>, Erişim tarihi Ağustos 9, 2019.
17. Innocenti, M., Pollini, L., Turra, D., A fuzzy approach to the guidance of unmanned air vehicles tracking moving targets. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16 (6), 1125-1137, 2008.
18. Morris, S., Frew, E. W., Jones, H., Cooperative tracking of moving targets by teams of autonomous unmanned air vehicles, *MLB CO MOUNTAIN VIEW CA*, 2005.
19. Ramirez-Atencia, C., Bello-Orgaz, G., R-Moreno, M. D., Camacho, D., Solving complex multi-UAV mission planning problems using multi-objective genetic algorithms, *Soft Computing*, 21 (17), 4883-4900, 2017.
20. Savuran, H., & Karakaya, M., Efficient route planning for an unmanned air vehicle deployed on a moving carrier, *Soft Computing*, 20 (7), 2905-2920, 2016.
21. Shima, T., Schumacher, C., Assignment of Cooperating UAVs to Simultaneous Tasks using Genetic Algorithms, In *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, 5829, August 2005.
22. Kim, J., Morrison, J. R., On the concerted design and scheduling of multiple resources for persistent UAV operations, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 74 (1-2), 479-498, 2014.
23. Helvig, C. S., Robins, G., & Zelikovsky, A., Moving-target TSP and related problems, In *European Symposium on Algorithms*, Springer Berlin Heidelberg, 453-464, August 1998.
24. Fügenschuh, A., Knapp, M., Rothe, H., The multiple traveling salesmen problem with moving targets. *Helmut-Schmidt-Univ., Professur für Angewandte Mathematik*, 2014.
25. Stieber, A., Fügenschuh, A., Epp, M., Knapp, M., & Rothe, H., The multiple traveling salesmen problem with moving targets, *Optimization Letters*, 9 (8), 1569-1583, 2015.
26. Stieber, A., Fügenschuh, A., Variants in Modeling Time Aspects for the Multiple Traveling Salesmen Problem with Moving Targets, 2016.
27. Jiang, Q., Sarker, R., Abbass, H., Tracking moving targets and the non-stationary traveling salesman problem, *Complexity International*, 11 (2005), 171-179, 2005.
28. Jindal, P., Kumar, A., Multiple Target Intercepting Traveling Salesman Problem, *International Journal of Computer Science and Technology*, 2 (2), 327-331, 2011.
29. Englot, B., Sahai, T., Cohen, I., Efficient Tracking and Pursuit of Moving Targets by Heuristic Solution of the Traveling Salesman Problem, In *Decision and Control (CDC)*, 2013 IEEE 52nd Annual Conference on. IEEE, 3433-3438, December 2013.
30. Jindal, P., Kumar, A., Kumar, S., Dynamic version of Traveling Salesman Problem, *International Journal of Computer Applications* 0975-8887, 19 (1), 2011.
31. Khosravi, M., Aghdam, A. G., Cooperative Receding Horizon Control for Multi-Target Interception in Uncertain Environments, In *Decision and Control (CDC)*, 2014 IEEE 53rd Annual Conference on. IEEE, 4497-4502, December 2014.
32. Zhou, A., Kang, L., Yan, Z. Solving Dynamic TSP with Evolutionary Approach in Real Time, In *Evolutionary Computation*, 2003. CEC'03. The 2003 Congress on, IEEE, 2, 951-957, December 2003.
33. Choubey, N. S., Moving Target Travelling Salesman Problem using genetic algorithm, *International Journal of Computer Applications*, 70 (2), 2013.
34. Lee, Z. J., Lee, C. Y., Su, S. F., An immunity-based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem *Applied Soft Computing*, 2 (1), 39-47, 2002.
35. Agharkar, P., Bullo, F., Vehicle routing algorithms to intercept escaping targets. In *American Control Conference (ACC)*, 2014, IEEE, 952-957, June 2014.
36. Knapp, M., Rothe, H., Concept for simulating engagement strategies for C-RAM systems using laser weapons. *Proceedings of the DMMS*, 2012.
37. Hammar, M., Nilsson, B. J., Approximation results for kinetic variants of TSP, In *International Colloquium on Automata, Languages, and Programming*. Springer Berlin Heidelberg, 392-401, July 1999.
38. Bengt, J., Approximation Results for Kinetic Variants of TSP, *Discrete & Computational Geometry*, 4 (27), 2002.
39. Bourjolly, J. M., Gurtuna, O., Lyngvi, A., On-orbit servicing: a time-dependent, moving-target traveling salesman problem, *International Transactions in Operational Research*, 13 (5), 461-481, 2006.
40. Blough, O. P., Farrington, T. K., Hudson, J., Trojan Asteroid Mission Design: Target Selection And Sequencing Optimization, 2016.
41. Mei, G., Ran, X., Fang, D., & Zhang, C., Improved Satellite Scheduling Algorithm for Moving Target, In *Proceedings of the fourth International Conference on Information Science and Cloud Computing (ISCC2015)*, Guangzhou, China. Online at <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=264>, id. 58, 18-19 December, 2015.

42. Groba, C., Sartal, A., Vázquez, X. H., Solving the dynamic traveling salesman problem using a genetic algorithm with trajectory prediction: An application to fish aggregating devices, *Computers & Operations Research*, 56, 22-32, 2015.
43. Mercer, G., Barry, S. I., Marlow, D. O., Kilby, P., Investigating the effect of detection and classification range and aircraft dynamics on a, *ANZIAM Journal*, 49, 475-492, 2008.
44. Kilby, P., Tobin, P., Luscombe, R., Barry, S. I., Hickson, R., The maritime surveillance problem, 2007.
45. Marlow, D. O., Kilby, P., & Mercer, G. N., The Travelling Salesman Problem in Maritime Surveillance–Techniques, Algorithms and Analysis, In *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation*, 684-690, December 2007.
46. Fang, F., Jiang, A. X., Tambe, M., Protecting moving targets with multiple mobile resources, *Journal of Artificial Intelligence Research*, 48, 583-634, 2013.
47. Cross, M., Marlow, D., Looker, J. Application of the non-stationary travelling salesman problem to maritime Surveillance, *Proceedings of MISG*, 1-4, 2007.
48. Shuttleworth, R., Golden, B. L., Smith, S., Wasil, E., Advances in meter reading: Heuristic solution of the close enough traveling salesman problem over a street network, In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Springer US, 487-501, 2008.
49. Del Bimbo, A., & Pernici, F., Distant targets identification as an on-line dynamic vehicle routing problem using an active-zooming camera. In *Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance*, 2005. 2nd Joint IEEE International Workshop on. IEEE, 97-104, October 2005.
50. Bimbo, A.D., Pernici, F., Saccades Planning with Kinetic TSP for Distant Targets Identification, In *Imaging for Crime Detection and Prevention*, 2005. ICDP 2005. The IEE International Symposium on. IET, 145-149, June 2005.
51. Ilavarasi, K., Joseph, K.S., Variants of travelling salesman problem: A survey. In *Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*, 2014 International Conference on. IEEE, 1-7, February 2004.
52. Asahiro, Y., Horiyama, T., Makino, K., Ono, H., Sakuma, T., Yamashita, M., How to collect balls moving in the Euclidean plane, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 91, 229-245, 2004.
53. Asahiro, Y., Miyano, E., Shimoirisa, S., Grasp and delivery for moving objects on broken lines, *Theory of Computing Systems*, 42 (3), 289-305, 2008.
54. Chalasani, P., Motwani, R., Rao, A. N. I. L., Algorithms for robot grasp and delivery, In *2nd International Workshop on Algorithmic Foundations of Robotics*, July 1996.
55. Uçar, U., İşleyen, S., A New Solution Approach for UAV Routing Problem with Moving Target – Heterogeneous Fleet. *Journal of Polytechnic*, DOI: 10.2339/politeknik.466393
56. Uçar, U.Ü., İşleyen, S.K., A solution approach based on simulated annealing for the destruction of moving targets in time window by air operations, 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS) 19-22 October 2017.
57. İşleyen, S. K., Uçar, U., Balo, F., A New Solution Approach for Maritime Surveillance Operation: The Case of Aegean Sea, *Mathematical Problems in Engineering*. 2019, 1-16, 2019.
58. Papadakos, N., Tzallas-Regas, G., Rustem, B., Thoms, J., Risky traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 212 (1), 69-73, 2011.
59. Bullo, F., Frazzoli, E., Pavone, M., Savla, K., & Smith, S. L., Dynamic Vehicle Routing for Robotic Systems. *Proceedings of the IEEE*, 99 (9), 1482-1504, 2011.
60. Ries, J., & Ishizaka, A., A multi-criteria support system for dynamic aerial vehicle routing problems. In *Communications, Computing and Control Applications (CCCA)*, 2012 2nd International Conference on. IEEE, 1-4, December 2012.
61. Enright, J., Frazzoli, E., Savla, K., & Bullo, F., On multiple UAV routing with stochastic targets: Performance bounds and algorithms. In *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, 5830, August 2005.
62. Karakaya, M., A local optimization technique for assigning new targets to the planned routes of unmanned aerial vehicles, *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2 (2), 2014.
63. Ercan, C., & Gencer, C., Dinamik insansız hava sistemleri rota planlaması literatür araştırması ve insansız hava araçları çalışma alanları, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 104-111, 2013.
64. Psaraftis, H. N., Wen, M., Kontovas, C. A., Dynamic vehicle routing problems: Three decades and counting, *Networks*, 67 (1), 3-31, 2016.
65. Murray, C. C., Karwan, M. H., An extensible modeling framework for dynamic reassignment and rerouting in cooperative airborne operations, *Naval Research Logistics (NRL)*, 57 (7), 634-652, 2010.
66. O'Rourke, K. P., Dynamic unmanned aerial vehicle (UAV) routing with a Java-encoded reactive tabu search metaheuristic (No. AFIT/GOA/ENS/99M-06). *Air Force Inst Of Tech Wright-Pattersonafb Oh School Of Engineering*, 1999.
67. Küçükaydın H., Column generation based matheuristics for a vehicle routing problem with time Windows and variable start time, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (4), 2061-2078, 2019.
68. Aydoğdu B., Özyörük B., Mathematical model and heuristic approach for solving dynamic vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery: Random iterative local search variable neighborhood descent search, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 563-580, 2020.

69. Can Atasagun G, Karaođlan İ., A mathematical model for the time dependent vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34 (4), 1743-1756, 2019.
70. Kıvanç Ö.C., Mungan T.E., Atila B, Tosun G., An integrated approach to development of unmanned ground vehicle: design, analysis, implementation and suggestions, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34 (4), 1957-1974, 2019.
71. Murray, C. C., Dynamic reassignment and rerouting in cooperative airborne operations, State University of New York at Buffalo, 2010.
72. Mufalli, F., Batta, R., Nagi, R., Simultaneous sensor selection and routing of unmanned aerial vehicles for complex mission plans, Computers & Operations Research, 39 (11), 2787-2799, 2012.
73. Scioletti, M. S., A heuristic algorithm for optimized routing of unmanned aerial systems for the interdiction of improvised explosive devices (Doctoral dissertation, Monterey, California. Naval Postgraduate School), 2008.
74. Vidal, R., Rashid, S., Sharp, C., Shakernia, O., Kim, J., & Sastry, S., Pursuit-evasion games with unmanned ground and aerial vehicles. In Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on, IEEE, 3, 2948-2955, 2001.
75. Pavone, M., Bisnik, N., Frazzoli, E., Isler, V., A stochastic and dynamic vehicle routing problem with time windows and customer impatience. Mobile Networks and Applications, 14 (3), 350, 2009.
76. Groba, C., Sartal, A., Vázquez, X. H., Integrating forecasting in metaheuristic methods to solve dynamic routing problems: Evidence from the logistic processes of tuna vessels, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 76, 55-66, 2018.
77. Holland, J. H., Adaption in natural and artificial systems. An Introductory Analysis with Application to Biology, Control and Artificial Intelligence, 1975.
78. Şahin, M., Kellegöz, T., An efficient grouping genetic algorithm for U-shaped assembly line balancing problems with maximizing production rate, Memetic Computing, 9 (3), 213-229, 2017.
79. Gözütok S., Özdemir O.N., Refinement of hydraulic calibration for water supply networks with genetic algorithms, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 19 (2), 125-130, 2004.
80. Temiz İ., Erol S., Multiobjective genetic algorithm for fuzzy flowshop scheduling problem, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 22 (4), 855-862, 2007.
81. Lokman, B., Çok amaçlı tamsayı programlama problemleri için temsili çözüm üreten yaklaşımların ve kalite ölçülerinin incelenmesi, Journal of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers), 28 (1), 2017.
82. Durmaz, E. D., Çok amaçlı tek sıra tesis düzenleme probleminin çözümü için NSGA II ve hedef programlama yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
83. Sağ, T., Çok kriterli optimizasyon için genetik algoritma yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2018).
84. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. A. M. T., A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6 (2), 182-197, 2002.
85. Mafarja, M. M., Mirjalili, S., Hybrid Whale Optimization Algorithm with simulated annealing for feature selection, Neurocomputing, 2017.
86. Ingber, L., Simulated annealing: Practice versus theory, Mathematical and Computer Modelling, 18 (11), 29-57, 1993.
87. Talbi, El-Ghazali, Metaheuristics: From Design to Implementation. John Wiley & Sons, 2009.

